



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS DA NATUREZA
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE BACHARELADO EM GEOGRAFIA

ANÁLISE ESPACIAL DAS PERDAS DE SOLO NO ESTADO DA PARAÍBA

BERNARDO STARLING DORTA DO AMARAL

João Pessoa - PB

Junho de 2016

BERNARDO STARLING DORTA DO AMARAL

**ANÁLISE ESPACIAL DAS PERDAS DE SOLO NO
ESTADO DA PARAÍBA**

Monografia apresentada ao
departamento de Geociências do
Centro de Ciências Exatas da Natureza
da Universidade Federal da Paraíba,
Campus I, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Richarde Marques
da Silva

João Pessoa - PB

Junho de 2016

A485a Amaral, Bernardo Starling Dorta do.
 Análise espacial das perdas de solo no estado da Paraíba /
 Bernardo Starling Dorta do Amaral. - João Pessoa, 2016.
 57p. : il.-

 Monografia (Bacharelado em Geografia) – Universidade
 Federal da Paraíba.

 Orientador: Profº Drº Richard Marques da Silva.

 1. Erosão do solo. 2. USLE. 3. Solo - Paraíba. I. Título.

UFPB/BS-CCEN

CDU: 631.459(043.2)

BERNARDO STARLING DORTA DO AMARAL

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DAS PERDAS DE
SOLO NO ESTADO DA PARAÍBA**

Trabalho de conclusão de curso,
apresentado a Universidade Federal
da Paraíba, como parte da exigência
para a obtenção do título de
Bacharel em Geografia.

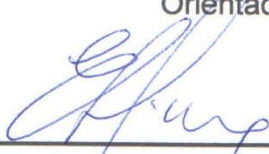
Aprovado em, 14 de JUNHO de 2016.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Richarde Marques da Silva – DGEOC/CCEN/UFPB

Orientador



Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima – DGEOC/CCEN/UFPB

Examinador



Mestre. Jorge Flávio Casé Braga da Costa Silva – PPGG/CCEN/UFPB

Examinador

João Pessoa-PB

2016

Dedico esse trabalho a minha família, em especial aos meus pais e minhas irmãs que sempre estiveram juntos nos momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, Deuses, entidades espirituais, seres supremos, independente de religião ou crença. Pois são Ele(s) que nos momentos difíceis da vida nos remetemos, pedindo auxílio, força, orientações... e são sempre Ele(s) que vão estar do nossos lados, não vão nos julgar, apontar dedos e criticar nunca, independente do que aconteça.

Queria agradecer a minha família, que se resume nos meus pais e minhas duas irmãs, pois família pra mim é quem fica unido, firme e forte, independente de tudo. A meu pai Heródoto, que me ensinou TUDO o que sei hoje em dia ajudando a me tornar a pessoa que sou hoje em dia. A minha mãe Juacema, que me ensinou a amar as pessoas independente do que elas tenham me oferecer, o verdadeiro significado do amor. Minha irmã Julia, que por muitos anos moramos sozinhos e independente das brigas sempre nos ajudamos (quando as pessoas brigam muito uma com a outra, quer dizer que existe amor). A minha irmã mais nova Helena, que com todas as dificuldades que tem nunca desistiu de nada na vida, me ensinando o que é ter paciência e mantendo a família unida com o seu jeito de ser.

Não poderia esquecer minha namorada Brenda Rodrigues, que esteve sempre do meu lado como companheira nos momentos difíceis e nos momentos bons da vida, até porque o homem não vive só nos momentos ruins. A meu cunhado Pablo Rodrigues que em suas loucuras tem momentos de luz. Meu sogro Robson topando sempre minhas ideias malucas e minha sogra Verluce que apesar das brigas, aperreios e provocações (sempre brincando) sempre mostrou ser amiga e uma boa conselheira.

A todos os meus amigos que tenho durante toda minha vida, aos verdadeiros amigos, que independente de tudo estão ao meu lado para ajudar no que quer que seja.

Gostaria de agradecer a todas as amizades que fiz durante o curso, todos os companheiros da turma 2012.1 sem exceções, com cada um de vocês eu aprendi um pouco, ajudando na minha formação e a ser quem sou.

Gostaria de agradecer todos os companheiros do laboratório LEPPAN, que fazem ou um dia fizeram parte. Obrigado a todos vocês que por inúmeras vezes quando não sabia de algo pedia a ajuda e sempre mostraram ser prestativos.

Gostaria de dar um agradecimento em especial ao professor Richarde que desde a seleção que fiz no começo do curso acolheu aquele garoto que mal sabia com o que trabalharia e foi paulatinamente me ensinando e me orientando. Queria agradecer pelo vínculo que foi formado que está além de orientador-orientando, que sempre serei um amigo para o que precisar.

A todos os professores e funcionários do curso de geografia, pelos ensinamentos passados, pelas conversas descontraídas na praça e por tudo que ajudaram em minha formação acadêmica, sempre serei grato por cada um de vocês.

Obrigado a todos que de alguma forma, mesmo mínima que seja, ajudaram na minha formação acadêmica e pessoal.

Pensa! O pensamento tem
poder.

Mas não adianta só pensar.

Você também tem que dizer!
Diz!

Porque as palavras têm poder.

Mas não adianta só falar.

Você também tem que fazer!
Faz!

Porque você só vai saber se o final vai ser feliz depois que tudo acontecer.

(Se liga aí – Gabriel O Pensador)

RESUMO

Este estudo teve como objetivo analisar as perdas de solos no Estado da Paraíba. Para estudar as perdas de solo foi utilizada a Equação Universal de Perda de Solos - USLE, acoplado a um Sistema de Informação Geográfica-SIG. Através da multiplicação dos Fatores K, R, LS, C e P, foram necessário dados como: série histórica da precipitação, mapa de solos, modelo digital de elevação e imagem de satélite para classificação do uso e ocupação, obtidos em ambiente SIG. A perda de solo estimada através da USLE apresentou espacialmente como resultado grande perda de solo na porção oeste do estado onde a erosividade da chuva máxima chega a 1.410 t/ha.ano e com a menor perda de solos ocorrem no litoral paraibano, com valores próximos de zero. O estudo mostrou que o Estado da Paraíba, em geral, apresentou moderado grau de susceptibilidade a erosão, segundo a classificação utilizada para analisar a perda de solo.

Palavras chave: Erosão, USLE, Paraíba.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the soil losses in the state of Paraíba. To study soil loss equation was used to Universal Soil Loss - USLE coupled to an Information System GIS geographically. By multiplying factors K, R, LS, C and P, were necessary data such as time series of rainfall, soil map, digital elevation model and satellite image classification for the use and occupation, obtained in a GIS environment. The estimated loss of soil through USLE presented spatially as a result large loss of soil in the western portion of the state where the erosivity of the maximum rainfall reaches 1,410 t / ha year and with less loss of soil occur in Paraíba coast, with similar values zero. The study showed that the state of Paraíba, in general, showed moderate susceptibility to erosion, according to the classification used to analyze soil loss.

Keywords: Erosion, USLE, Paraíba.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização geográfica do Estado da Paraíba.	31
Figura 2: macrotipos climáticos do Brasil	33
Figura 3: Distribuição espacial dos postos pluviométricos no Estado da Paraíba.	38
Figura 4: Mapa dos tipos de solos do Estado da Paraíba e pontos de amostrada dos solos	40
Figura 5: Espacialização da erosividade das chuvas para o Estado da Paraíba de 1962 -2001.	45
Figura 6: Mapa de solos do Estado da Paraíba com os valores de erodibilidade.	47
Figura 7: Mapa do fator topográfico do Estado da Paraíba	49
Figura 8: Mapa de uso e ocupação do solo do Estado da Paraíba.	51
Figura 9: Espacialização das perdas de solos para o Estado da Paraíba.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Lista dos postos pluviométricos do Estado da Paraíba utilizados neste estudo.....	34
Tabela 4: Total da área de cada classe de declividade para o Estado da Paraíba.....	50
Tabela 5: Área de abrangência de cada uso e ocupação do solo no Estado da Paraíba.....	52

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

CCM – Complexo Convectivo de Mesoescala

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LI – Linhas de Instabilidades

MDE – Modelo Digital de Elevação

MEAS – Massa Equatorial Atlântica Sul

MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

MTA – Massa Tropical Atlântica

NEB – Nordeste brasileiro

OL – Ondas de Leste

RFF – Repercussão de Frente Fria

SIG – Sistema de Informações Geográficas

USLE – Universal Soil Loss Equation

VCAS – Vórtices Ciclônicos de Ar Superior

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. OBJETIVOS.....	19
2.1. Objetivo Geral	19
2.2. Objetivos específicos	19
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
3.1. Massas de ar e Sistemas atuantes na Paraíba	20
3.1.1. Massa Tropical Atlântica (MTA) e Massa Equatorial do Atlântico Sul (MEAS) 20	
3.1.2. Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).....	21
3.1.3. Linhas de instabilidade (LI)	21
3.1.4. Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM).....	22
3.1.5. Repercussões de Frente Frias (RFF).....	22
3.1.6. Vórtice Ciclônicos de Ar Superior (VCAS)	22
3.1.7. Ondas de Leste (OL).....	23
3.2. Erosão do solo	23
3.3. SIG e Modelos Matemáticos	26
3.4. A USLE: origens e aplicações	27
3.4.1. Erosividade das chuvas.....	27
3.4.2. Erodibilidade do solo	28
3.4.3. O Fator topográfico.....	29
3.4.4. Ocupação do Solo	29
3.4.5. Práticas Conservacionistas.....	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1. Caracterização da Área de estudo	31
4.2. Determinação do Fator R	34
4.3. Determinação do fator K	39
4.1. Determinação do fator LS	41
4.2. Determinação do fator C e P	41
5. RESULTADOS E DUSCUSSÕES	44
5.1. Variabilidade espacial da erosividade da chuva (Fator R)	44
5.2. Fator de Erodibilidade dos solos	46
5.1. Fator topográfico	48

5.2. Fator de uso e ocupação do solo e práticas conservacionistas	50
5.3. Espacialização das Perdas de Solo	52
6. CONCLUSÃO	54
7. REFERÊNCIAS	55

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional no Brasil que vem ocorrendo nas últimas décadas, acompanhado pela expansão urbana e das atividades agroindustriais, tem provocado sérios danos ambientais, sobretudo nas perdas de solo. Sendo um dos principais problemas existentes, Silva et al. (2007) afirmam que os processos naturais de erosão dos solos vem afetando a capacidade da produção agrícola, a contaminação e assoreamento dos rios.

Martin Neto, Vaz e Crestana (2007) afirmam que, devido a tamanha importância, a erosão dos solos era estudada principalmente com o enfoque na produção agrícola, uma vez que o fenômeno erosivo causa sérios danos à produtividade agrícola. Todavia, mais recentemente as preocupações têm sido direcionadas aos problemas ambientais relacionados aos processos erosivos, como perda de solo, degradação de qualidade de corpos hídricos, transporte e deposição de sedimentos.

Contraposto a essas problemáticas estão os avanços no desenvolvimento de métodos e equipamentos voltados para o monitoramento e análise ambiental em recursos hídricos nos últimos anos. Silva (2010) afirma que nos últimos anos vem sendo comuns os trabalhos que utilizam dados de Sensoriamento Remoto, técnicas de modelagem, aplicações geotecnológicas, modelos matemáticos e SIG (Sistema de Informação Geográfica). Esses avanços possibilitam a aplicação das ferramentas de análise geoespaciais gerando uma gama de informações espaciais. Apesar disso no Brasil há uma carência de informações espaciais relacionadas ao meio físico devido às dificuldades da aquisição desses dados junto aos órgãos competentes.

Segundo Almeida (2010), os primeiros estudos envolvendo o uso de geotecnologias surgiram a partir do uso do sensoriamento remoto no início da década de 1970. A partir da evolução espacial ao longo dos anos juntamente com, a evolução dos sistemas computacionais e da disponibilização de imagens de satélite com alta resolução espacial e da integração de um SIG, os estudos envolvendo as geotecnologias passaram a ser mais utilizados com o avanço dessas tecnologias. Fitz (2008) afirma que os avanços das geotecnologias têm causado maior influência em pesquisas geográficas, com

especial destaque para os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) e o Sensoriamento Remoto.

Silva e Santos (2008) afirmam que, nos últimos anos, as aplicações de modelos hidrossedimentológicos vêm sendo incorporadas ao Sistema de Informações Geográficas (SIG), para representar espacialmente os resultados obtidos da modelagem, sobretudo na produção de mapas temáticos e para auxiliar as análises espaciais, através do cruzamento de dados tabulares e de informações geográficas ajudando, assim, o processo de análise geoespacial.

Esses modelos passaram a ser utilizados no final da década de 1950. Através do Serviço de Conservação dos Solos dos Estados Unidos, Wischmeier e Smith (1978) criaram a *Universal Soil Loss Equation* (USLE), conhecido no Brasil como Equação Universal de Perdas de Solos, passou a ser uma das metodologias mais utilizadas para predição da perda de solo. Segundo Wischmeier e Smith (1978), este procedimento é fundamentado em uma equação empírica que pode ser aplicável a todos os valores numéricos disponíveis, permitindo prever a taxa média de erosão do solo a partir dos principais fatores condicionantes da erosão, uso e ocupação do solo, práticas conservacionistas, tipos de solos, padrão de chuvas e topografia.

Mais recentemente, são comuns os trabalhos utilizando dados de Sensoriamento Remoto e de SIG, na modelagem dos processos de perdas de solo em bacias experimentais, como nos estudos de Silva et al. (2007), Jain e Das (2009), Xavier (2014) e Dantas (2016). Segundo Machado e Vettorazzi (2003), a incorporação de modelos hidrológicos em um SIG auxilia na interpretação dos resultados do modelo, sendo assim uma ferramenta poderosa e eficiente no cruzamento de informações espaciais e tabulares, economizando tempo e gastos desnecessários.

Modelos de análise ambiental vêm sendo integrados aos SIGs, uma vez que permitem a integração de bases de dados espaciais, possibilitando análises geográficas dos processos hidrossedimentológicos de forma integrada, com o propósito de representar espacialmente os resultados obtidos da modelagem, sobretudo na produção de mapas temáticos, através do

cruzamento de imagens de sensores remotos, dados tabulares e de informações geográficas (Nigel e Rughooputh, 2010). Segundo COSTA (2012):

“Logo, é possível com o emprego das geotecnologias, equações empíricas e a representação gráfica por meio de mapas temáticos, a análise da ocupação do solo; monitoramento do desmatamento de matas ciliares; erosão; assoreamentos de rios e lagos; contaminação; compactação; diminuição da matéria orgânica; dentre outros impactos que afetam profundamente o ciclo da água e o solo.”

Segundo Schmugge et al. (2002) torna-se possível estudar amplas áreas através da utilização de técnicas de sensoriamento remoto. O presente trabalho busca analisar a distribuição espacial da erosão através do mapeamento das áreas de risco natural de perda de solo através da chuva para o Estado da Paraíba a partir da USLE.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Estimar as perdas de solo para o Estado da Paraíba a partir da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solos (USLE).

2.2. Objetivos específicos

- Analisar a variabilidade espacial da erosividade das chuvas para o Estado da Paraíba.
- Calcular o fator de erodibilidade dos solos para os solos existentes na Paraíba.
- Determinar as perdas de solo utilizando a USLE para o Estado da Paraíba considerando o uso e ocupação do solo.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Massas de ar e Sistemas atuantes na Paraíba

Segundo Pereira (2009) e Araújo (2006), o Nordeste Brasileiro (NEB) tem como maior característica a irregularidade pluviométrica em escala temporal e espacial. Este comportamento é decorrente de diversos fatores, como as características fisiográficas e a influência de vários sistemas atmosféricos, responsáveis pela grande variabilidade espacial e temporal das chuvas no Estado da Paraíba. Segundo Araújo (2006), o Estado da Paraíba é o estado com uma das maiores variabilidades espaciais da precipitação. Nimer (1979) afirma que o período seco no NEB Nordeste é menor para as regiões litorâneas aumentando a medida que adentra para o interior. O mesmo autor afirma ainda que, a complexidade da precipitação na região é decorrente da interação dos compartimentos morfológicos somados aos diferentes sistemas atuantes que tornam a climatologia dessa região uma das mais complexas do mundo.

A partir do breve apanhado sobre a complexidade climática da região e a partir do esclarecimento de Nimer que explica parte da dinâmica climática da região, serão abordadas a seguir as principais Massas de ar e Sistemas atuantes no Estado da Paraíba.

3.1.1. Massa Tropical Atlântica (MTA) e Massa Equatorial do Atlântico Sul (MEAS)

Formadas no Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul, Souza (1998) e Nimer (1979) afirmam que essas massas apresentam alta umidade relativa, mas ao avançar sobre o continente apresentam temperaturas mais elevadas, pressão e umidade relativa baixas. Segundo Pereira (2009) esses são os principais Sistemas responsáveis por causar estabilidade durante todo o ano, tendo uma maior atuação durante o período seco, na primavera e início do verão, nos meses de setembro a dezembro.

3.1.2. Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), segundo Pereira (2009), Araújo (2006) e Mendonça e Danni-Oliveira (2007), pode ser definida como uma banda de nuvens formada pela confluência dos ventos alísios de nordeste, oriundos do sistema de alta pressão ou anticiclone subtropical do hemisfério norte e alísios de sudeste, provenientes da alta subtropical do hemisfério sul. Configura-se por ser móvel, uma vez que se desloca durante o ano sob a ação do movimento aparente do sol, podendo chegar a 5° de Latitude Sul. Xavier (2000), UVO (1989) e Araújo (2006) relacionam a ZCIT com o principal fator de chuva para a região do NEB. Pereira (2009) afirma que a ZCIT tem maior intensidade nos meses de janeiro a maio, podendo ter um período de maior intensidade chegando até início de junho (raramente) sendo, portanto, responsável pelas chuvas durante o período chuvoso do sertão paraibano que ocorre durante o verão.

3.1.3. Linhas de Instabilidade (LI)

Segundo Ferreira e Mello (2005) apud Soares (2015), Linhas de instabilidade (LI) são bandas de atividades convectivas que se formam devido as diferenças de temperaturas entre oceano e continente. Tais linhas podem estar intimamente associadas com a brisa marítima, se organizando ao longo de tal sistema”. Segundo o mesmo autor as LI são sistemas de curta duração tendo como duração média desde algumas poucas horas até no máximo dias.

Para Pereira (2009) e Soares (2015) as LI ocorrem no começo do ano a partir do mês de janeiro, podendo ocorrer até os meses de junho/julho, estando associada com a ZCIT podendo também estar associadas as Brisas Marítimas quando adentram para o continente. Associado a ZCIT, as LI formam um dos sistemas responsáveis pelas chuvas no sertão paraibano durante o período de atuação.

3.1.4. Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM)

Segundo Pereira (2009) e Soares (2015) os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) são sistemas de nuvens aproximadamente circulares formadas rapidamente a partir das condições locais favoráveis, como, temperatura, relevo e pressão. Estão relacionados a uma perturbação dos ventos alísios de sudeste, provocando fortes chuvas e de curta duração, podendo gerar grandes prejuízos.

Filho et al. (1996) explicam que, frequentemente a propagação desses sistemas sobre a Paraíba ocorrem no período de março a junho, se originando sobre o oceano, seguindo daí uma trajetória praticamente zonal, se intensificando após chegar a costa e interagir com a topografia. Os autores ainda explicam que esses sistemas também se originam a partir de perturbações ao sul da Zona de Convergência Intertropical.

3.1.5. Repercussões de Frentes Frias (RFF)

Souza (1998) e Molion e Bernardo (2002) apontam que, durante o final do outono e principalmente no inverno, as frentes frias são uma importante fonte de pluviosidade para o nordeste, principalmente para o setor sul e posteriormente para o leste desta região, devido à extensão deste setor. À medida que as frentes ou suas repercussões avançam para latitudes menores decai a influência causada sobre a porção leste do NEB, porém, para que as frentes cheguem até as latitudes mais baixas, precisam estar mais vigorosas, assim sendo, a maior influência delas sobre o Estado da Paraíba se dá sobre a forma de repercussões de frente durante o inverno.

3.1.6. Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS)

Segundo Pereira (2009), Araújo (2006) e Soares (2015), os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS) ou Vórtices Ciclônicos de Alto Nível (VCAN), são sistemas tropicais que se formam sobre o oceano atlântico, e tem como

características na sua periferia uma região de baixa pressão, auxiliando na formação de nuvens e no seu núcleo um aumento de pressão inibindo a formação de nuvens. Desta forma, pode causar chuvas na zona periférica, como também pode atuar como inibidor de formação de nuvens em seu núcleo. Atuam principalmente nos meses de dezembro a abril podendo se estender até o mês de maio e podendo atuar em toda a extensão do Estado da Paraíba.

3.1.7. Ondas de Leste (OL)

Segundo Pereira (2009) e Araujo (2006), as Ondas de Leste (OL) são sistemas de mesoescala que se deslocam a partir da costa africana até atingir a região leste do nordeste brasileiro (LNB), desde o Estado da Bahia até o Rio Grande do Norte. Ferreira e Mello (2005) e Paiva Neto (2003) afirmam que as OL são diretamente influenciadas pelas condições da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), desta forma as OL são intensificadas podendo ampliar a área de atuação chegando até o litoral do Ceará. Segundo os mesmos autores, as OL tem ocorrência nos meses de maio a setembro e é o principal produtor de chuva no litoral paraibano, podendo se estender até o mês de dezembro em casos extremos.

3.2. Erosão do solo

A erosão consiste em um conjunto de processos pelos quais os materiais da crosta terrestre são desagregados, dissolvidos ou desgastados e transportados de um ponto a outro pelos agentes erosivos (geleiras, rios, mares, vento ou chuva) (Vilar, 1987); (VILAR e PRANDI, 1993).

Para Guerra (2011), a erosão dos solos é um processo que ocorre em duas fases: a primeira constitui na remoção das partículas e a segunda no transporte desse material, havendo ainda um terceiro processo que ocorre quando não há mais energia suficiente para continuar ocorrendo o transporte desse material, e ocorre a fase da deposição do material transportado.

Silva et al. (2003) e Lima (2004) mencionam dois tipos básicos dos processos de erosão: (a) a erosão natural, que corresponde a atuação de processos físicos e biológicos que apresenta uma evolução contínua da terra sem atividade antrópica; e (b) a erosão acelerada ou induzida que ocorre na modificação antrópica do espaço, induzindo assim o aceleramento dos processos erosivos naturais.

Lima (2004) cita que dentre os agentes erosivos, entretanto, a água é o mais importante, notadamente na zona intertropical, pela ação das chuvas, escoamento das águas em superfície, mares e lagos, dos quais resulta a chamada erosão hídrica de superfície. Segundo Guerra e Cunha (2011, p. 166)

“O ciclo hidrológico é o ponto de partida do processo erosivo. Durante um evento chuvoso, parte da gota cai diretamente no solo, ou porque não existe vegetação ou porque a água passa pelos espaços existentes na cobertura vegetal. Parte da água da chuva é interceptada pela copa das árvores, sendo que parte dessa água volta para atmosfera, por evaporação, e outra parte chega ao solo ou por gotejamento das folhas, ou escoamento pelo tronco. A ação das gotas da chuva diretamente, ou por meio do gotejamento das folhas, causa a erosão por salpicamento (*splash*). A água que chega ao solo pode ser armazenada em pequenas depressões ou se infiltra aumentando a umidade do solo, ou abastece o lençol freático. Quando o solo não consegue mais absorver água, o excesso começa a se mover em superfície ou em subsuperfície, podendo provocar erosão através do escoamento das águas”.

Segundo Lima (2004), das formas de erosão hídrica, entretanto, a de maior abrangência e impacto sobre as atividades humanas, é a representada pela água das chuvas através do impacto das gotas sobre o solo e seu escoamento superficial que remove o material das camadas de superfície das vertentes. No que refere ao escoamento superficial, são distinguidas as formas clássicas de erosão pela água como a laminar, em sulcos, em ravinas e em voçorocas.

A partir do momento que a gota de chuva atinge o solo dá-se início a erosão. Neste momento é causado o efeito *splash*, também conhecida no Brasil como erosão por salpicamento, é o estágio inicial do processo de erosão dos solos. Esse processo causa o deslocamento de pequenas partículas de solos, formação de pequenas crateras e formação de uma crosta na superfície do solo, dificultando a infiltração da água.

Segundo Guerra (2010) e Dantas (2016) a medida em que aumenta a precipitação, parte da água que chega ao solo é infiltrada ou pode ser armazenada em pequenas depressões formando poças. A partir de então, com o solo saturado, não conseguindo mais absorver a água, o excesso começa a se mover sob a superfície dando início ao escoamento superficial, fase inicial da erosão laminar, que é caracterizada pela remoção da camada fina através de fluxos rasos de água podendo evoluir para a formação do segundo estágio erosivo, o fluxo linear.

Guerra (2010) e Guerra e Cunha (2011) afirmam que o fluxo linear se forma a partir da concentração de pequenos canais em pontos aleatórios da encosta, onde a medida que o fluxo aumenta sua profundidade, diminui a velocidade do escoamento. O terceiro estágio erosivo é a formação de microrravinas, onde a maior parte das águas que se encontra nos pequenos fluxos. Nesse estágio aumenta a turbulência, ocorrendo o estágio inicial da formação de ravinas, daí o nome microrravinas. O quarto estágio ocorre com a formação de microrravinas com cabeceiras onde há o segundo pico de na produção de sedimentos. A partir de então o processo torna-se equilibrado, causando uma zona de deposição de sedimentos abaixo das cabeceiras, indicando que o fluxo de água não suporta mais transportar tamanha produção de sedimentos gerados pelas ravinas.

Segundo Guerra (2010), reconhecer o desenvolvimento de ravinas é de grande importância prática na conservação dos solos, e a não distinção entre situações onde as ravinas podem se estabelecer, ou não, contribui para uma menor capacidade de predição da ocorrência de tais processos em alguns modelos, com é o caso da Equação Universal de Perda de Solo.

3.3. SIG e Modelos Matemáticos

A partir do desenvolvimento dos SIGs, tornou-se possível retratar espacialmente as informações obtidas através da modelagem hidrológica de maneira rápida e sem grandes custos de operação. Assim, o desenvolvimento de um sistema integrado de vazão-erosão acoplado a um SIG é extremamente útil e pode ser utilizado para o gerenciamento dos recursos hídricos.

Segundo Silva e Santos (2008), nos últimos anos as aplicações de modelos de erosão vêm sendo incorporadas ao Sistema de Informações Geográficas (SIG), para representar espacialmente os resultados obtidos na modelagem, sobretudo de dados tabulares e de informações geográficas, auxiliando o processo de análise geoespacial.

A utilização de um SIG constitui hoje um instrumento de grande valia para o estabelecimento de planos integrados de uso e ocupação do solo e da água, seja no meio rural ou urbano. A principal vantagem na utilização de um SIG reside na possibilidade de estudar diferentes cenários com um baixo custo e de forma rápida. O acoplamento de modelos hidrológicos com o SIG não é uma integração recente e nos últimos anos tem aumentado consideravelmente.

A integração entre modelos de simulação das perdas de solo com o SIG permite a manipulação e a construção de bases espaciais de diversos tipos de dados de forma integrada num mesmo sistema de referência. Segundo Silva (2010), os SIGs permitem conexões entre diferentes atividades, baseado em sua proximidade geográfica. De modo simplificado, um SIG combina diversos níveis de informação sobre um lugar, fornecendo uma melhor compreensão sobre o mesmo.

Segundo Tucci (2005), o modelo é a representação de algum objeto ou sistema, numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas. Sendo assim, um modelo é a representação simplificada de um sistema real, que utiliza as características reais ou semelhantes para aquele determinado sistema modelado. O autor afirma que um modelo matemático é representado por um conjunto de equações ou expressões matemáticas e argumentos lógicos para simular o sistema, sendo caracterizado também como modelo digital por utilizar

programas computacionais desenvolvidos para realizar os cálculos do modelo idealizado. Segundo Gómez (2012), o principal limitante no uso de modelos não empíricos é a discordância entre o tipo de informação requerida pelos modelos e a disponibilização pelas distintas entidades pública de coleta e geração de dados ambientais. Merritt et al. (2003) *apud* Medeiros (2009) argumentam que modelos mais simples tendem a ser mais robustos, fornecendo resultados mais estáveis que modelos mais complexos. Os autores afirmam também que modelos com grande quantidade de parâmetros e processos simulados podem envolver elevado grau de incertezas na parametrização e, conseqüentemente, nos resultados, podendo apresentar desempenho mais fraco que modelos mais simples. Por essa razão os modelos empíricos, tais como a USLE, são frequentemente mais utilizados, pelo fato de ser facilmente aplicados.

3.4.A USLE

Estimativas de perda de solo por erosão hídrica podem ser feitas através de equações empíricas, como a equação universal de perda de solo (Equação 1).

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

A USLE foi desenvolvida por Wischmeier e Smith em 1960 sendo modificada e melhorada em 1965 e 1978 por seus criadores, analisando os fatores principais envolvidos no processo de erosão, sendo esses: erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), topografia (LS), uso e ocupação do solo (C) e práticas conservacionistas (P).

3.4.1. Erosividade das chuvas – Fator R

A erosividade das chuvas é representada na USLE pelo Fator R, que expressa o potencial erosivo do solo a partir da precipitação média anual da área de estudo. Segundo Trindade (2014), o conceito de erosividade baseia-se na interação entre a energia cinética das gotas de chuva e a cobertura do solo.

Para Montebeller et al. (2007), a distribuição das chuvas em uma região é dependente de fatores estáticos (latitude, distância do oceano, efeito orográfico) e dinâmicos (movimentação das massas de ar) que, associados entre si, caracterizam os índices pluviométricos da região.

Originalmente, segundo Wischmeier e Smith (1978), o Fator R foi obtido a partir do cálculo do Índice de Energia de chuva para 30 minutos (EI_{30}), para eventos superiores a 12,5 mm ou denominados eventos erosivos. Lee e Heo (2011) comentam que para calcular a erosividade da chuva faz-se necessário utilizar uma série histórica de no mínimo 20 anos.

Silva (2004) afirma que diversos autores geram diferentes equações para estimar a erosividade das chuvas através dos dados pluviométricos para diferentes regiões do país e em diferentes escalas. No mesmo trabalho, o autor utiliza oito equações que se adequam melhor para determinadas áreas do país, com base em Oliveira Jr. e Medina (1990), Moraes, et al. (1991), Oliveira Jr. (1988), Silva (2001), Leprun (1981), Val et al. (1986), Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) e Rufino et al. (1993).

3.4.2. Erodibilidade do solo – Fator K

A erodibilidade do solo é um dos fatores mais importantes nos estudos de erosão do solo. Para Xavier (2014), a erodibilidade é a perda de solo por unidade de força erosiva, seja por precipitação ou mesmo escoamento superficial. Guerra e Guerra (2011) afirmam que a erodibilidade é a susceptibilidade que os solos têm em ser erodidos, influenciando na maior ou menor erodibilidade.

Segundo Elliot e Lal (1994), a questão dos solos é muito complexa, considerando que os processos de desgaste e transporte estão influenciados por diferentes fatores da propriedade do solo, tais como: textura, estabilidade estrutural, teor de matéria orgânica, mineralogia das argilas e componentes químicos. Portanto diferentes tipos de solos têm diferentes comportamentos erosivos. Um solo com predominância de areia fina e silte vai ser mais

susceptível a erosão, o contrário ocorre em solos com alto teor de matéria orgânica reduzindo a erosão superficial e a perda de solo.

3.4.3. O Fator topográfico – Fator LS

O fator LS é a relação entre o comprimento de rampa e inclinação do terreno. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990) o comprimento de rampa e o grau de declividade do terreno influenciam na velocidade do escoamento da água que por sua vez influencia a quantidade de material que será transportado através do escoamento superficial.

Gómez (2012) afirma que a sofisticação dos cálculos para estimar o fator LS também vem acompanhando o desenvolvimento dos softwares e hardwares para este fim, utilizando satélites e sensores remotos que permitem a obtenção de informações fundamentais para o cálculo, mediante a produção de mapas de modelo de elevação digital (DEM).

3.4.4. Uso e Ocupação do Solo – Fator C

Segundo Silva (2010), o Fator C é caracterizado pela relação entre as perdas de solo em variadas condições de uso e ocupação do solo e as perdas de solo correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto. Sendo assim, o Fator C tem como importância, influenciar na prevenção ou no agravamento dos processos erosivo. O valor varia de 0 a 1, e quanto mais próximo de zero for o Fator C, mais protegido o solo estará e quanto mais próximo de um o Fator C for, mais propenso à erosão o solo será.

3.4.5. Práticas Conservacionistas – Fator P

O Fator P é a relação entre a perda de solo esperada para uma determinada prática de conservação de solo. Segundo Renard e Foster (1983) *apud* Brhane e Mekonen (2009) uma específica prática de cultivo afeta a

erosão, modificando o fluxo padrão e a direção do escoamento superficial, por reduzir a quantidade escoada. Os mesmos autores ainda completam que onde há terraceamento a velocidade do escoamento superficial é reduzida com o aumento da infiltração, resultando numa menor perda de solo por escoamento superficial.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

O Estado da Paraíba possui a quinta menor extensão territorial diante das demais unidades da federação, equivalendo a uma superfície de 56.439,84 km², e correspondendo a 3,63% da área da Região Nordeste, segundo o Relatório Final da Agência Executiva das Águas do Estado da Paraíba (AESA). A Paraíba está situada entre as latitudes 06°00'11" e 08°19'54" Sul, e as longitudes de 34°45'50" e 38°47'58" Oeste (Figura 1).

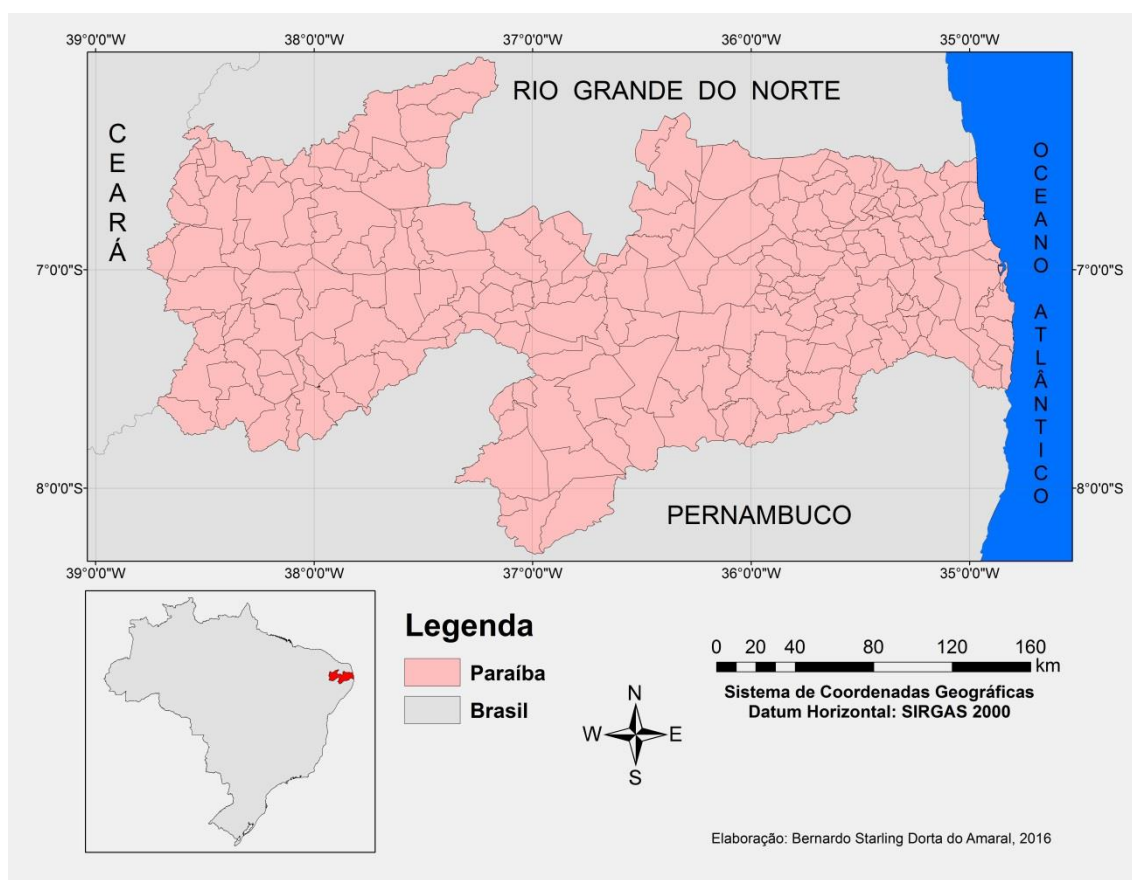


Figura 1: Localização do Estado da Paraíba.

A Paraíba limita-se ao norte com o Estado do Rio Grande do Norte; a leste, com o Oceano Atlântico; a oeste, com o Estado do Ceará; e ao sul, com o Estado de Pernambuco. O Estado da Paraíba, por sua localização dentro da faixa equatorial, é submetido à incidência de alta radiação solar com um grande

número de horas de insolação. Essa condição determina um clima quente, temperatura média anual de 26°C.

Baseado na distribuição da temperatura e da pluviosidade, associadas às características geográficas, Mendonça e Danni-Oliveira (2007) apresentam os cinco grandes compartimentos climáticos do Brasil (Figura 2). Para o estado da Paraíba pode-se observar que apresenta dois Macrotipos Climáticos, Clima Tropical Litorâneo do Nordeste oriental, 3b, com 3 a 5 meses secos para a porção oriental do estado, e o Clima Tropical Equatorial, 2d, com 9 a 11 meses secos para a porção ocidental do estado.

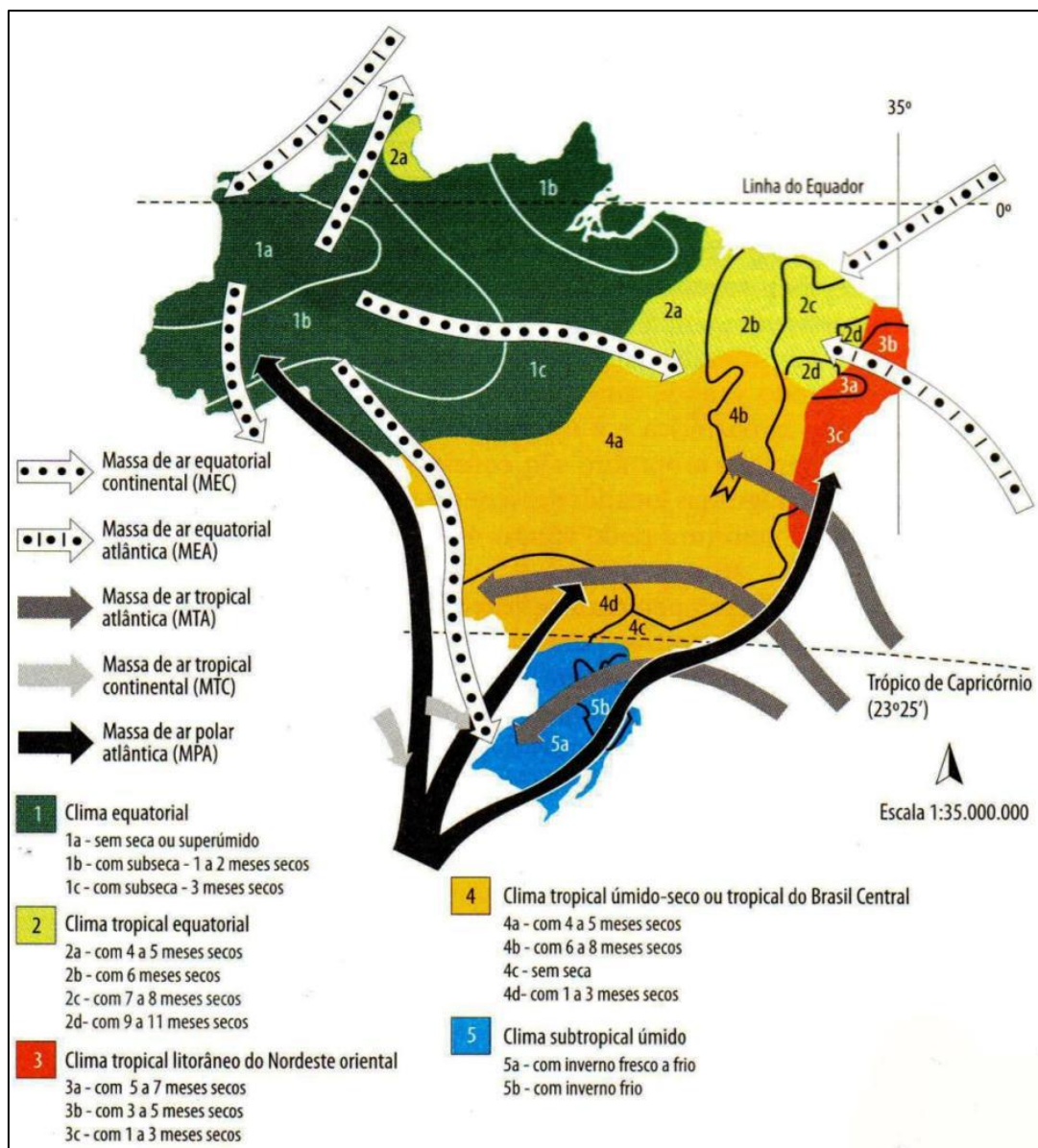


Figura 2: Macrotipos climáticos do Brasil
Fonte: Mendonça e Danni-Oliveira (2007)

O Estado da Paraíba apresenta uma vasta variação nos tipos de solos, sendo os mais representativos o Neossolo Litólico Eutrófico, tendo representação em todo o território com maior abrangência na porção oeste do estado paraibano. O Luvissoilo Crômico apresenta-se principalmente na porção central do estado e o Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico com maior abrangência na faixa litorânea do estado. Os demais solos ocorrem de forma esparsa e com pouca representatividade.

O relevo do Estado da Paraíba apresenta formas bastante diversificadas, onde ao longo dos anos, foram modelados por diferentes

processos. Carvalho (1982) classificou o Estado da Paraíba dividindo em duas porções, Setor Oriental Úmido e Subúmido e Setor Ocidental Subúmido e Semiárido. Na porção Oriental do estado a autora menciona a existência de Planaltos Costeiros, Planícies Aluviais, Depressões Sublitorâneas e a Escarpa Oriental da Borborema. Na porção Ocidental do estado a autora menciona, Superfície Aplainada, Serras e Inselbergues, Chapadas, Depressão do Curimataú, Pediplano Sertanejo e por último Depressão do rio do Peixe.

4.2. Determinação do Fator R

A determinação do fator de erosividade da USLE (Fator R), para o Estado da Paraíba foi realizada com base nas equações de Silva (2009) (Equação 2) para o interior do estado, e Leprun (1981) (equação 3) para a área litorânea, apresentadas por Silva (2004), que realizou testes para todo o território nacional, identificando qual método aparentou ser mais coerente para cada local a partir da precipitação.

$$Rx = 42.307 * \left(\frac{Mx^2}{P} \right) + 69.76 \quad (2)$$

$$Rx = 0.13 * (Mx^{1.24}) \quad (3)$$

sendo: Rx = fator de erosividade da chuva (MJ.mm/ha.h.ano); Mx = precipitação mensal (mm); P = precipitação média anual.

Para a estimativa do Fator R foram utilizados dados diários da precipitação obtidos dos postos pluviométricos da AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, para o período de 1962 a 2001, como mostra a Tabela 1 e a Figura 3.

Tabela 1: Lista dos postos pluviométricos do Estado da Paraíba utilizados neste estudo.

Código	Posto	Latitude	Longitude
385472	Água Branca	-7,5119	-37,6367
3843166	Aguiar	-7,9330	-38,1733
3848174	Alagoa Grande	-7,3670	-35,6311
3848145	Alagoa Nova	-7,5420	-35,7578
3837796	Algodão de Jandaíra	-6,9610	-36,7500
3839727	Araçagi	-6,8333	-35,3878
383855	Araruna	-6,5314	-35,7397
3838962	Areia	-6,9756	-35,7178
385865	Aroeiras	-7,5458	-35,7111
3838575	Bananeiras	-6,7514	-35,6342
3838684	Bananeiras/Vila Maia	-6,7880	-35,5781
38586	Barra de Santana/Bodocongó	-7,5236	-35,9986
3857534	Barra de São Miguel	-7,7517	-36,3181
3824396	Belém do Brejo do Cruz	-6,1864	-37,5356
3843857	Boa Ventura	-7,4260	-38,2178
3842698	Bonito de Santa Fé	-7,3144	-38,5144
3847979	Boqueirão/Boqueirão, Aç.	-7,4980	-36,1358
382571	Brejo do Cruz	-6,3483	-37,4997
385744	Cabaceiras	-7,4922	-36,2869
3832956	Cachoeira dos Índios/Balanços	-6,9960	-38,7472
3838246	Cacimba de Dentro	-6,6367	-35,7953
383928	Caiçara	-6,6147	-35,4681
3832789	Cajazeiras	-6,8942	-38,5444
383398	Cajazeiras/Engenheiro Ávidos, Aç.	-6,9880	-38,4550
3856828	Caldas Brandão	-7,1250	-35,3244
3848428	Camalaú	-7,8900	-36,8256
3856498	Campina Grande/EMBRAPA	-7,2256	-35,9420
3838526	Caraúbas	-7,7253	-36,4930
3844279	Casserengue/Salgado, St.	-6,7931	-35,8944
3824751	Catingueira	-7,1283	-37,6830
3852197	Catolé do Rocha	-6,3439	-37,7467
3834877	Conceição	-7,5600	-38,5190
3856667	Condado	-6,9231	-37,5947
38448	Congo	-7,8220	-36,6586
3856278	Coremas/Coremas, Aç.	-7,2500	-37,9428
3849384	Coxixola	-7,6286	-36,6560
3827973	Cruz do Espírito Santo	-7,1480	-35,9110
3845583	Cuité	-6,4850	-36,1492

3848741	Desterro	-7,2930	-37,8810
385839	Fagundes	-7,3586	-35,7844
384755	Gado Bravo/Lagoa dos Marcos, Fz.	-7,5986	-35,8322
3843919	Gurjão	-7,2478	-36,4892
384573	Ibiara	-7,5640	-38,4720
3848579	Imaculada	-7,3822	-37,5940
3849636	Ingá	-7,2925	-35,6119
3834137	Itabaiana	-7,3250	-35,3375
3846185	Jericó	-6,5500	-37,8000
385436	Juazeirinho	-7,6830	-36,5800
3845514	Jurú	-7,5478	-37,8670
3834894	Mãe d'Água	-7,2572	-37,4253
3853467	Malta	-6,9330	-37,5197
3882792	Manaíra	-7,7690	-38,1525
3833835	Monteiro	-7,8850	-37,1269
COD_EST	Nazarezinho	-6,9200	-38,3197
3843992	Nova Olinda	-7,4819	-38,4250
3844448	Olho d'Água	-7,2278	-37,7560
3837953	Olivedos	-6,9886	-36,2436
3845289	Passagem	-7,1364	-37,4750
384545	Patos	-7,8000	-37,3131
383757	Pedra Lavrada	-6,7553	-36,4644
383728	Picuí	-6,5500	-36,3469
3847188	Pocinhos	-7,7780	-36,5920
3834538	Pombal	-6,7719	-37,8600
3855383	Prata	-7,6950	-37,8420
3853499	Princesa Isabel	-7,7331	-37,9944
3857471	Riacho de Santo Antônio	-7,6942	-36,1561
3824992	Riacho dos Cavalos/Jenipapeiro dos Carreiros	-6,4353	-37,6531
3846231	Salgadinho	-7,1220	-36,8453
3836715	Santa Luzia	-6,8681	-36,9181
3845113	Santa Terezinha	-7,8420	-37,4450
384473	Santana dos Garrotes	-7,3833	-37,9897
3833285	São Francisco	-6,6178	-38,9470
3833413	São João do Rio do Peixe/Antenor Navarro	-6,7253	-38,4519
3866128	São João do Tigre	-8,8000	-36,8472
386666	São João do Tigre/Sta. M ^a da Paraíba	-8,1530	-36,6397
3833869	São José da Lagoa Tapada	-6,9422	-38,1619
3835734	São José de Espinharas	-6,8481	-37,3264

384322	São José de Piranhas	-7,1156	-38,4967
3842185	São José de Piranhas/Arapuá, St.	-7,1156	-38,6161
3846739	São José dos Cordeiros	-7,3980	-36,8580
3835882	São Mamede	-6,9360	-37,1360
3865397	São Sebastião do Umbuzeiro	-8,1517	-37,9700
3837717	Seridó	-6,8553	-36,4160
3846969	Serra Branca	-7,4819	-36,6600
3843537	Serra Grande	-7,2142	-38,3722
3838675	Serraria	-6,8192	-35,6386
3847128	Soledade	-7,6800	-36,3619
3837552	Sossêgo	-6,7664	-36,2467
3833639	Sousa/São Gonçalo	-6,8358	-38,3117
3833235	Sousa/São Vicente, St.	-6,6142	-38,3330
3856314	Sumé	-7,6736	-36,8964
38568	Sumé/Bananeiras, Fz.	-7,5690	-36,9631
3846434	Taperoá	-7,2164	-36,8281
3845448	Teixeira	-7,2217	-37,2497
383289	Triunfo/Barra do Juá	-6,5142	-38,5392
383318	Uiraúna	-6,5231	-38,4920
3858467	Umbuzeiro	-7,6958	-35,6642
3858439	Umbuzeiro/Mata Virgem	-7,7400	-35,7936
3834389	Vista Serrana/Desterro da Malta	-6,7386	-37,5683

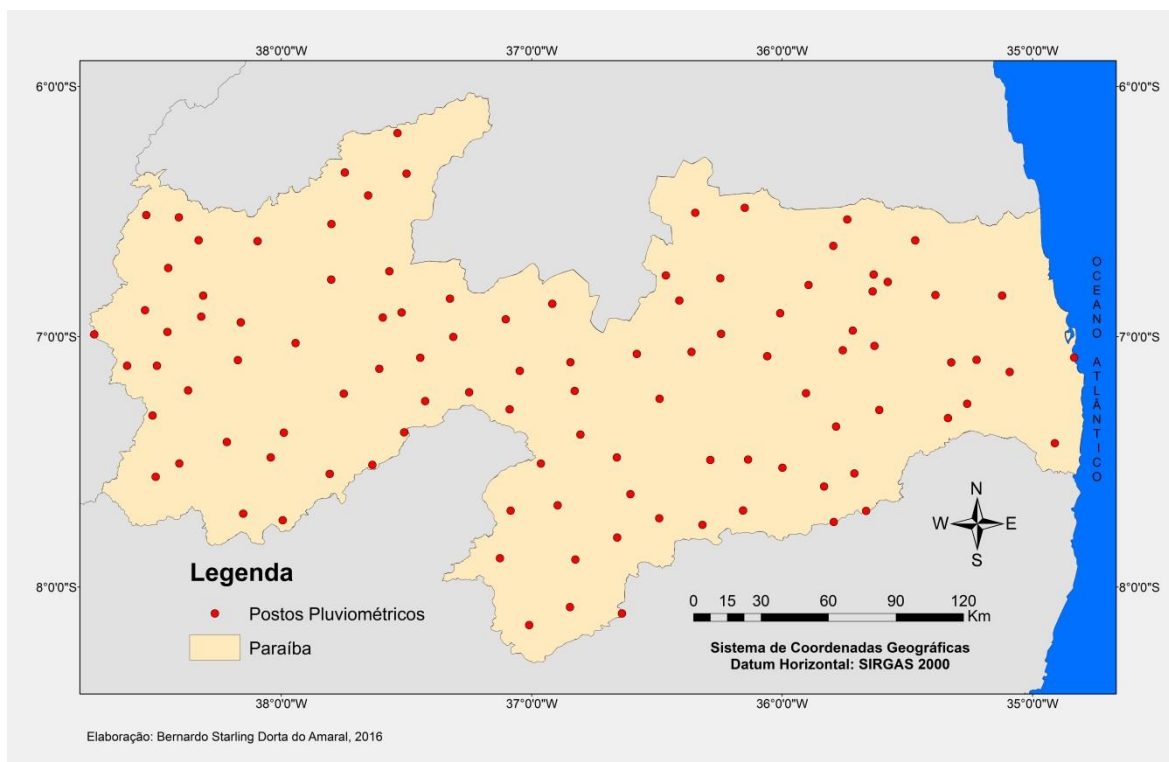


Figura 3: Distribuição espacial dos postos pluviométricos no Estado da Paraíba.

Para analisar a distribuição espacial da erosividade da chuva no Estado da Paraíba, os dados de precipitação foram organizados em formato de banco de dados em ambiente SIG, e em seguida foi aplicado o método de interpolação Krigagem. Jakob (2002) afirma que a Krigagem é considerada uma boa metodologia de interpolação de dados.

A interpolação por Krigagem utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas dos pontos amostrais e pesos menores nos pontos mais distantes, e criar assim os novos valores com base nessas combinações lineares de dados. Segundo Vieira (2000), Thompson (1992) *apud* Mello et al. (2003), Mello et al (2008) e Carvalho et al (2004), a krigagem tem capacidade de produzir melhores estimativas em termos de interpolação, porque está embasada em duas premissas: não-tendenciosidade do estimador e variância mínima das estimativas.

4.3. Determinação do fator K

Para a obtenção dos valores do Fator K foram utilizados dados da análise de solos realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) no Estado da Paraíba, obtida em seu banco dados. A partir dos dados de solos foi aplicada a metodologia proposta por Williams (1975) para o cálculo de erodibilidade do solo (Fator K) da Equação Universal de Perdas de Solo, através da equação:

$$K = f_{csand} \times f_{cl-si} \times f_{orgc} \times f_{hisand} \quad (4)$$

onde: f_{csand} é o parâmetro com índices de areia grossa, f_{cl-si} é o parâmetro com taxa de silte e argila, f_{orgc} é o parâmetro com teores de carbono orgânico e f_{hisand} é o parâmetro com teores de areia. Os parâmetros utilizados para o cálculo do Fator K foram calculados através das equações:

$$f_{csand} = \left\{ 0,2 + 0,3 \times \exp \left[-0,256 \times m_s \times \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right\} \quad (5)$$

$$f_{cl-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0,3} \quad (6)$$

$$f_{orgc} = \left[1 - \frac{0,25 \times orgC}{orgC + \exp(3,72 - 2,95 \times orgC)} \right] \quad (7)$$

$$f_{hisand} = \left\{ 1 - \frac{0,7 \times \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp \left[-5,51 + 22,9 \times \left(1 - \frac{m_s}{100} \right) \right]} \right\} \quad (8)$$

Onde: m_s é o percentual de areia, m_{silt} é o percentual de silte, m_c é o percentual de argila e $orgC$ é o percentual de carbono orgânico contido no horizonte.

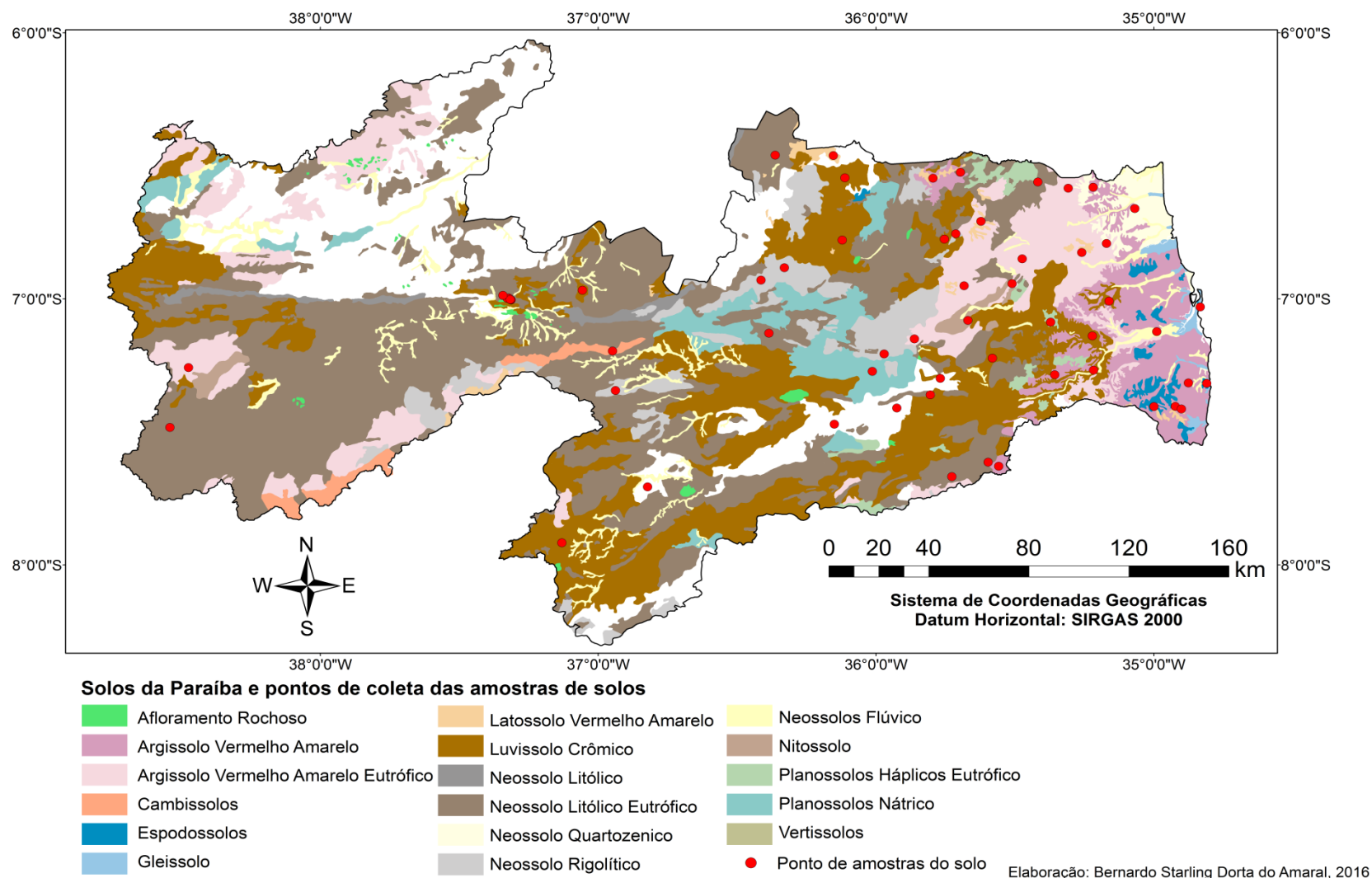


Figura 4: Mapa dos tipos de solos do Estado da Paraíba e pontos de amostragem dos solos

A partir do cálculo do Fator K foi criado um banco de dados, juntamente com o mapa de tipo de solos da Paraíba (Figura 4) obtido na EMBRAPA, no qual foi atribuído para cada um dos solos existentes os valores obtidos do Fator K. Em seguida foi criado um mapa de tipos de solos com os respectivos valores do Fator K atribuídos a cada um dos solos.

4.1. Determinação do fator LS

Para a determinação do fator topográfico (Fator LS) foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) para o Estado da Paraíba, com a resolução espacial de 30 metros, que foi obtido junto ao Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata>.

O Fator LS foi estimado a partir da equação 10, visto que foi a metodologia que melhor se adequou para área de estudo. Autores como campos e Cardoso (2004) utilizaram a mesma metodologia mostrando ser uma equação que se adequou a grandes áreas de estudo.

$$LS = 0,00984 \times C^{0,63} \times D^{1,18} \quad (10)$$

sendo C é o comprimento de rampa e D é a declividade em graus.

4.2. Determinação do fator C e P

Para a determinação do uso e ocupação do solo para o Estado da Paraíba (Fator C da USLE) foi utilizada uma imagem de satélite do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) satélite EOS-AM-1, com resolução espacial de 250 m metros. Para análise foram utilizadas as bandas 1 e 2, que segundo Anderson et al. (2003) são as bandas utilizadas para análise da superfície terrestre.

Durante o desenvolvimento do estudo foram necessários ajustes na imagem do MODIS para análise do uso e ocupação do solo. Foram realizadas

algumas correções, como: adaptação dos nomes do uso original com os usos existentes na área de estudo (Tabela 2) e a modificação de algumas áreas de cultura para áreas com plantio de cana-de-açúcar, pois no litoral paraibano é extremamente cultivada.

Tabela 2: Tipos de uso e ocupação do MODIS e tipos de uso e ocupação adaptados para o Estado da Paraíba.

Uso do Solo Original	Uso do solo Modificado
Water	Água
Evergreen Needleleaf forest	Vegetação Arbórea
Evergreen Broadleaf forest	
Deciduous Needleleaf forest	Vegetação Arbustiva-arbórea
Deciduous Broadleaf forest	
Mixed forest	Vegetação arbustiva
Closed shrublands	Caatinga
Open shrublands	Vegetação Herbácea
Woody savanas	Cerrado
Savannas	
Grasslands	Gramineas
Croplands	Cultura
Urban and built-up	Área Urbana
Cropland/Natural vegetation mosaic	Cana-de-açúcar
Barren or sparsely vegetated	Solo Exposto

Para a determinação do Fator P onde são adotadas formas de práticas conservacionistas para o uso adequado do solo, foi atribuído o valor 1. Segundo Gómez (2012), o fator P não é considerado pela incerteza do uso do solo, tipo de cultura e práticas realizadas no campo, além da escala que não permite identificar áreas onde são utilizadas as práticas conservacionistas.

Santos (2014) e Xavier (2014), em suas pesquisas adotaram o valor 1 para os tipos de práticas conservacionistas devido ao mesmo motivo pontado por Go. Assim, os Fatores C e P são analisados como sendo um único fator, Gómez (2012). Assim os Fatores C e P são analisados como sendo um único fator, Fator CP.

Neste estudo foram adotados os seguintes valores para o Fator CP: (a) Água: 0; (b) Vegetação Arbórea: 0,004; (c) Vegetação Arbórea-arbustiva: 0,0027; (d) Vegetação Arbustiva: 0,0015; (e) Caatinga: 0,013; (f) Cerrado: 0,042; (g) Cultura: 0,1415; (h) Área Urbana: 0,001; (i) Cana-de-açúcar: 0,001; (j) Solo Exposto: 1; (k) Vegetação Herbácea e Gramíneas: 0,01.

5. RESULTADOS E DUSCUSSÃO

5.1. Variabilidade espacial da erosividade da chuva (Fator R)

A Figura 5 mostra a espacialização do fator de erosividade da chuva (Fator R) da USLE no Estado da Paraíba. Os valores do Fator R variaram entre 759,21 e 7.714,73 MJ.mm/ha.h.ano, com valor médio de 4.236,97 MJ.mm/ha.h.ano. As áreas com maiores índices de erosividade encontram-se na porção oeste do estado por ter maior susceptibilidade de erosão do solo com a chuva. Os menores índices se encontram na faixa litorânea, porção leste do estado, onde apresenta menor susceptibilidade a perda de solo através da chuva.

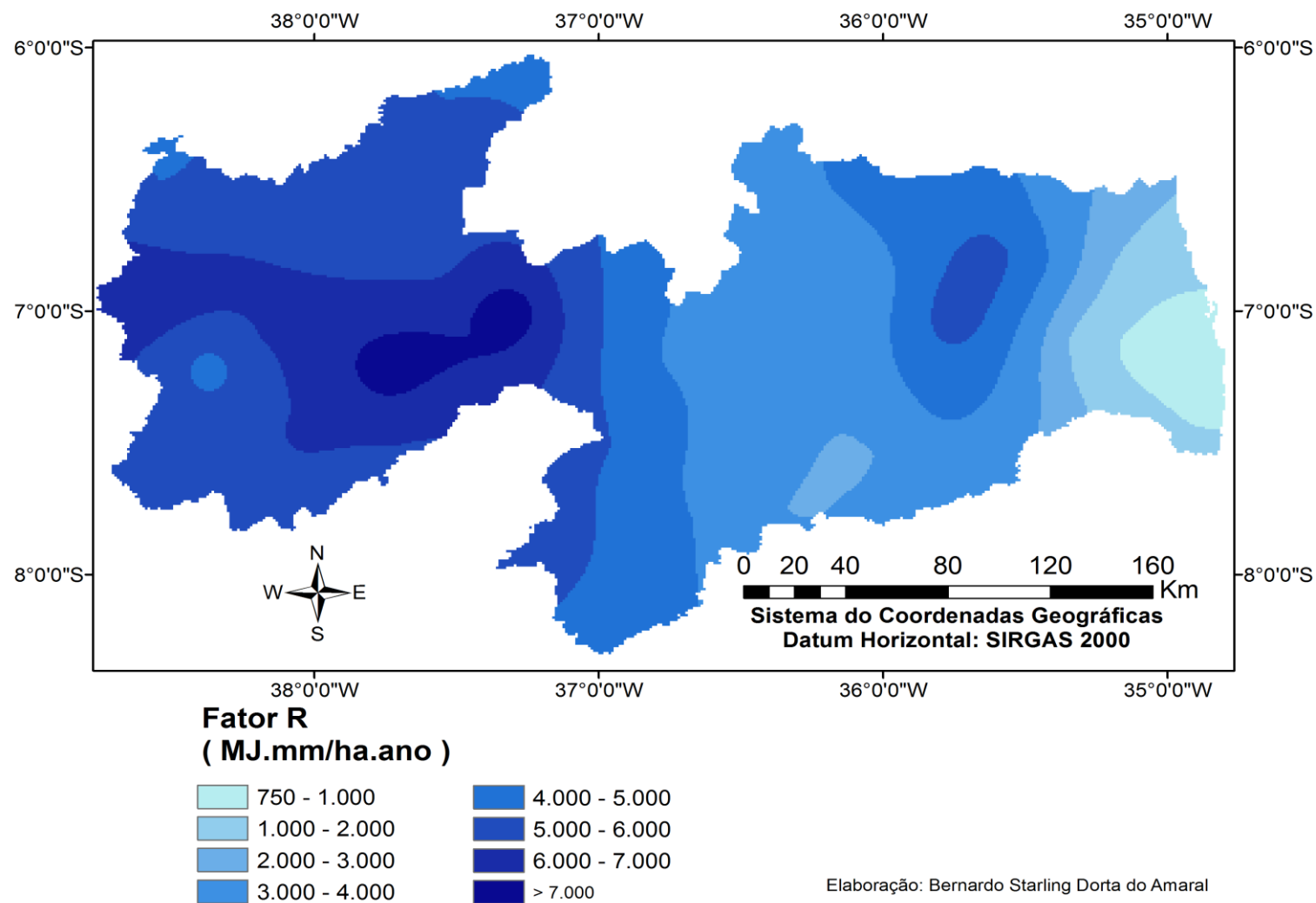


Figura 5: Espacialização da erosividade das chuvas para o Estado da Paraíba de 1962 -2001.

5.2. Fator de Erodibilidade dos solos

A Figura 6 apresenta os tipos de solos e a distribuição espacial do Fator K para cada tipo de solo no Estado da Paraíba. Os resultados obtidos mostram que os valores do Fator K variam de 0 para Afloramento Rochoso e 0,268 para Neossolo Quartzênico.

A Tabela 3 apresenta os tipos de solo e a respectiva área no Estado da Paraíba, e o valor de erodibilidade de cada solo. Verifica-se que aproximadamente 75% do território paraibano é composto por apenas três tipos de solo, Neossolo Litólico Eutrófico (40,10%), Luvisolo Crômico (23,22%) e Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico (11,61%).

Tabela 3: Total da área de cada tipo de solo existente no Estado da Paraíba.

Tipos de Solos	Área (km²)	%	Fator K
Afloramento Rochoso	170	0,36	0
Argissolo Vermelho Amarelo	2600	5,49	0,093
Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico	5500	11,61	0,116
Cambissolo	500	1,06	0,121
Espodossolos	320	0,68	0,050
Gleissolos	200	0,42	0,059
Latossolo Vermelho Amarelo	360	0,76	0,078
Luvisolo Crômico	11000	23,22	0,108
Neossolo Litólico	460	0,97	0,113
Neossolo Litólico Eutrófico	19000	40,10	0,127
Neossolo Quartzênico	660	1,39	0,268
Neossolo Rigolítico	2700	5,70	0,091
Neossolo Fluvico	1900	4,01	0,184
Nitossolo	330	0,70	0,123
Planossolos háplicos Eutrófico	480	1,01	0,075
Planossolos Nátrico	1200	2,53	0,122
Vertissolos	0	0,00	0,113

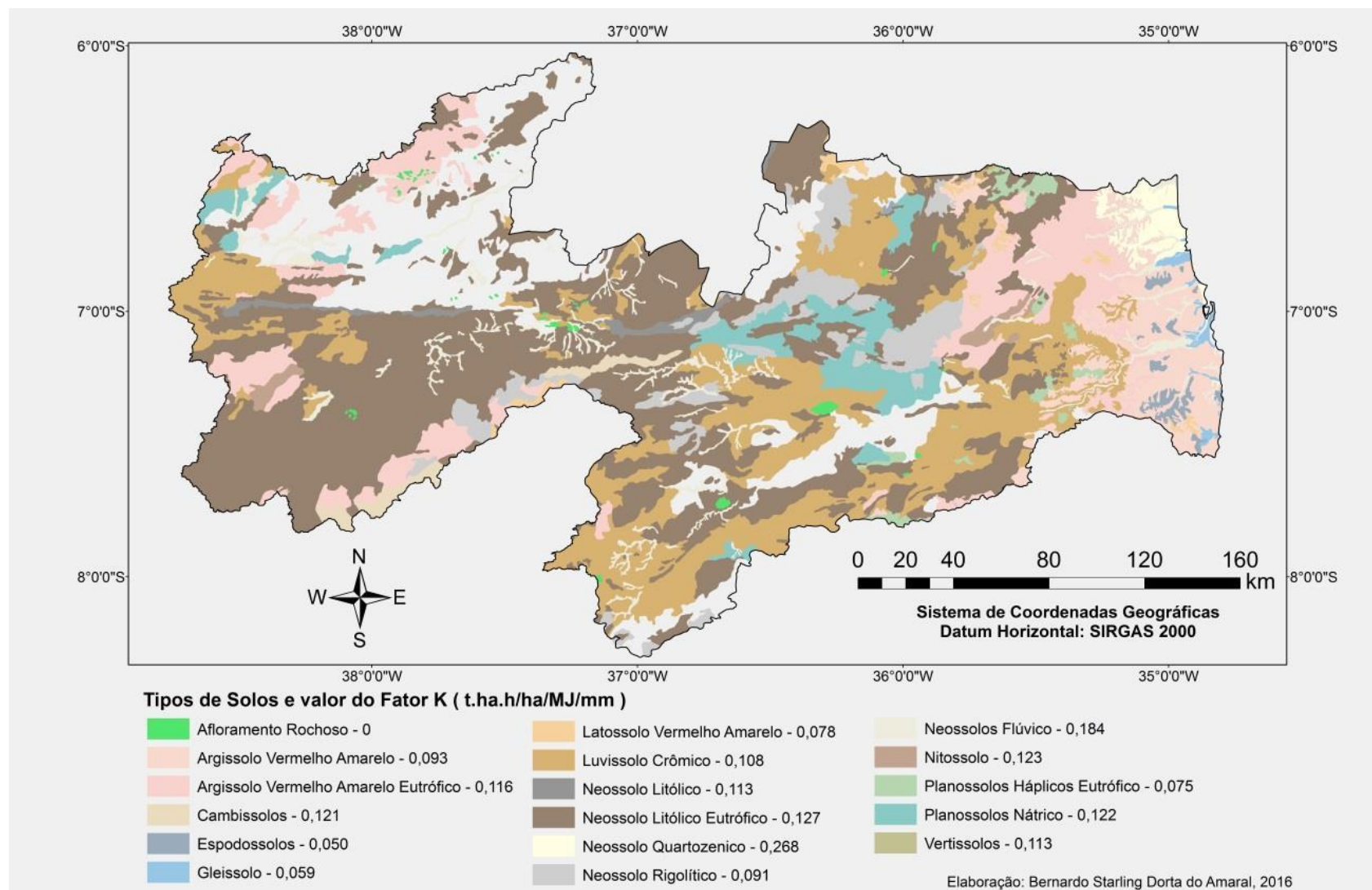


Figura 6: Mapa de solos do Estado da Paraíba com os valores de erodibilidade.

5.1. Fator topográfico

A Figura 7 mostra a espacialização do Fator LS para o Estado da Paraíba. A Tabela 4 apresenta os valores do Fator LS separados em classes segundo a classificação proposta pela EMBRAPA (1979).

Para o Estado da Paraíba foi utilizada a classificação de declividade proposta da Embrapa, onde foram utilizadas quatro classes, Plano de 0–3; Suave ondulado de 3–8; Ondulado de 8–20; Forte ondulado de 20–45. Os resultados mostram que o estado apresentou uma área de 3,66% para a classe considerada plana, 95,36% com Suave ondulado, 0,71% com Ondulado e 0,27% com Forte ondulado (tabela 4).

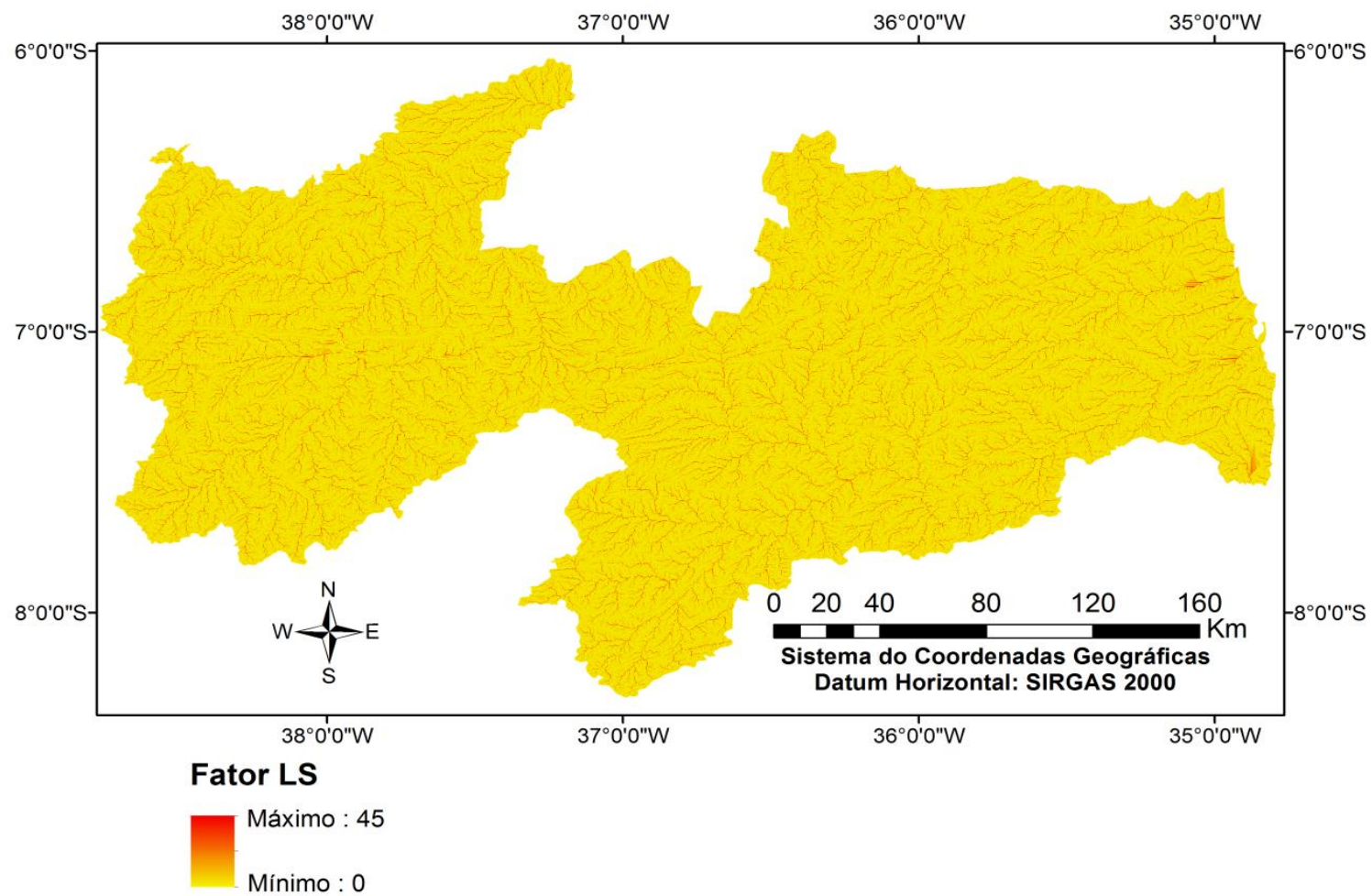


Figura 7: Mapa do fator topográfico do Estado da Paraíba

Tabela 2: Área de cada classe de declividade para o Estado da Paraíba.

Classes	Fator LS (%)	Área	
		km ²	%
Plano	0 – 3	2.067,43	3,66
Suave ondulado	3 – 8	53.811,66	95,36
Ondulado	8 – 20	401,42	0,71
Forte ondulado	20 – 45	150,37	0,27

5.2. Fator de uso e ocupação do solo e práticas conservacionistas

A Figura 8 apresenta a distribuição espacial do Fator CP, uso e ocupação do solo e práticas conservacionistas, para o Estado da Paraíba. A tabela 5 apresenta cada uma das áreas existentes, juntamente com a área total e o percentual de abrangência total para o estado.

Pode-se observar que a maior parte do estado (84,5%) é constituída de cerrado, com uma área total de 48000 km², seguida pelas Gramíneas com aproximadamente 4,6% (com área total de 2600 km²), Vegetação Herbácea com aproximadamente 3,3% (com uma área total de 1900 km²), seguindo com as demais culturas que tem aproximadamente 2,5% da área total do estado (com cerca de 1400 km²), a Caatinga com aproximadamente 1,5% do estado com uma área total de 850 km². Os demais tipos de uso e ocupação do solo juntos tem aproximadamente 1,5% de cobertura do estado, sendo esses usos: Água, Área Urbana, Solo Exposto, Vegetação Arbórea, Vegetação Arbórea-arbustiva e Vegetação Arbustiva com um total de 805 km² (Tabela 5).

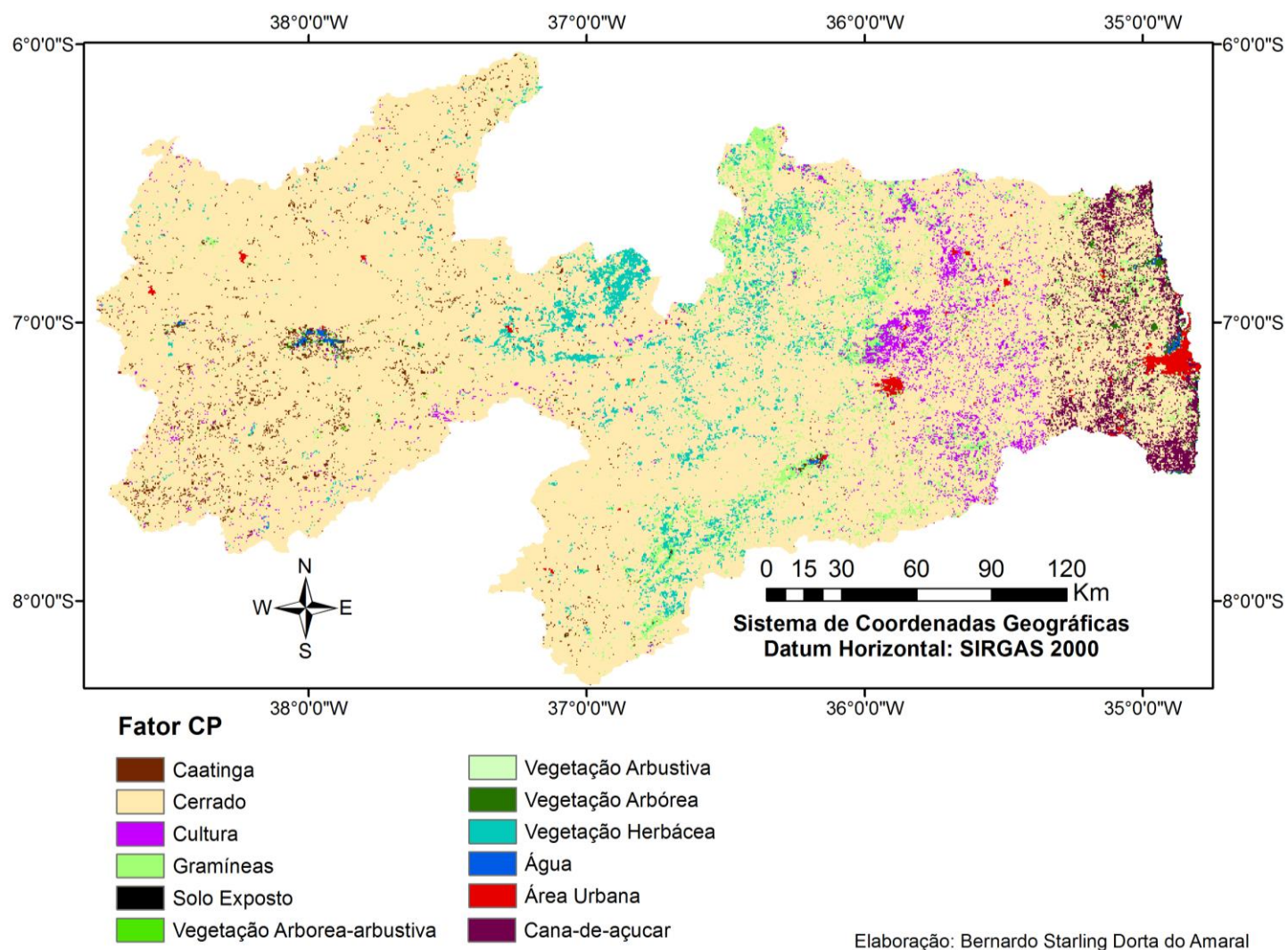


Figura 8: Mapa de uso e ocupação do solo do Estado da Paraíba.

Tabela 3: Área de abrangência de cada uso e ocupação do solo no Estado da Paraíba.

Classes	Área (km²)	%
Água	59	0,10
Área Urbana	320	0,56
Caatinga	850	1,49
Cana-de-açúcar	1300	2,28
Cerrado	48000	84,42
Cultura	1400	2,46
Gramíneas	2600	4,57
Solo Exposto	21	0,03
Vegetação Arbórea	94	0,16
Vegetação Arbórea-arbustiva	51	0,08
Vegetação Arbustiva	260	0,45
Vegetação Herbácea	1900	3,34

5.3. Espacialização das Perdas de Solo

A Figura 9 mostra a espacialização das perdas de solo para o Estado da Paraíba. A estimativa das perdas de solo foi distribuída em seis classes, variando de 0 – 10, 10 – 20, 20, – 30, 30 – 40 e maior que 50. Verificando a distribuição espacial das perdas de solo para o Estado da Paraíba, observa-se que a área onde pode ocorrer maior erosão do solo encontra-se no oeste do estado.

Esta região do estado apresenta solo do tipo Neossolo Litólico Eutrófico que possui um valor de erodibilidade de 0,127 t·ha·h/ha/MJ/mm, sendo o terceiro solo do estado com maior susceptibilidade à erosão. Essa área também apresenta o uso do solo do tipo caatinga e cerrado. Ainda para a mesma área do estado o Fator R, erosividade das chuvas, apresenta os maiores índices para esta região, chegando ao valor máximo de 7741,73 MJ.mm/ha.h.ano. A área com menos perda de solo do estado ocorreu na faixa litorânea, visto que o fator de erosividade da chuva para região é baixo relacionado com as demais áreas.

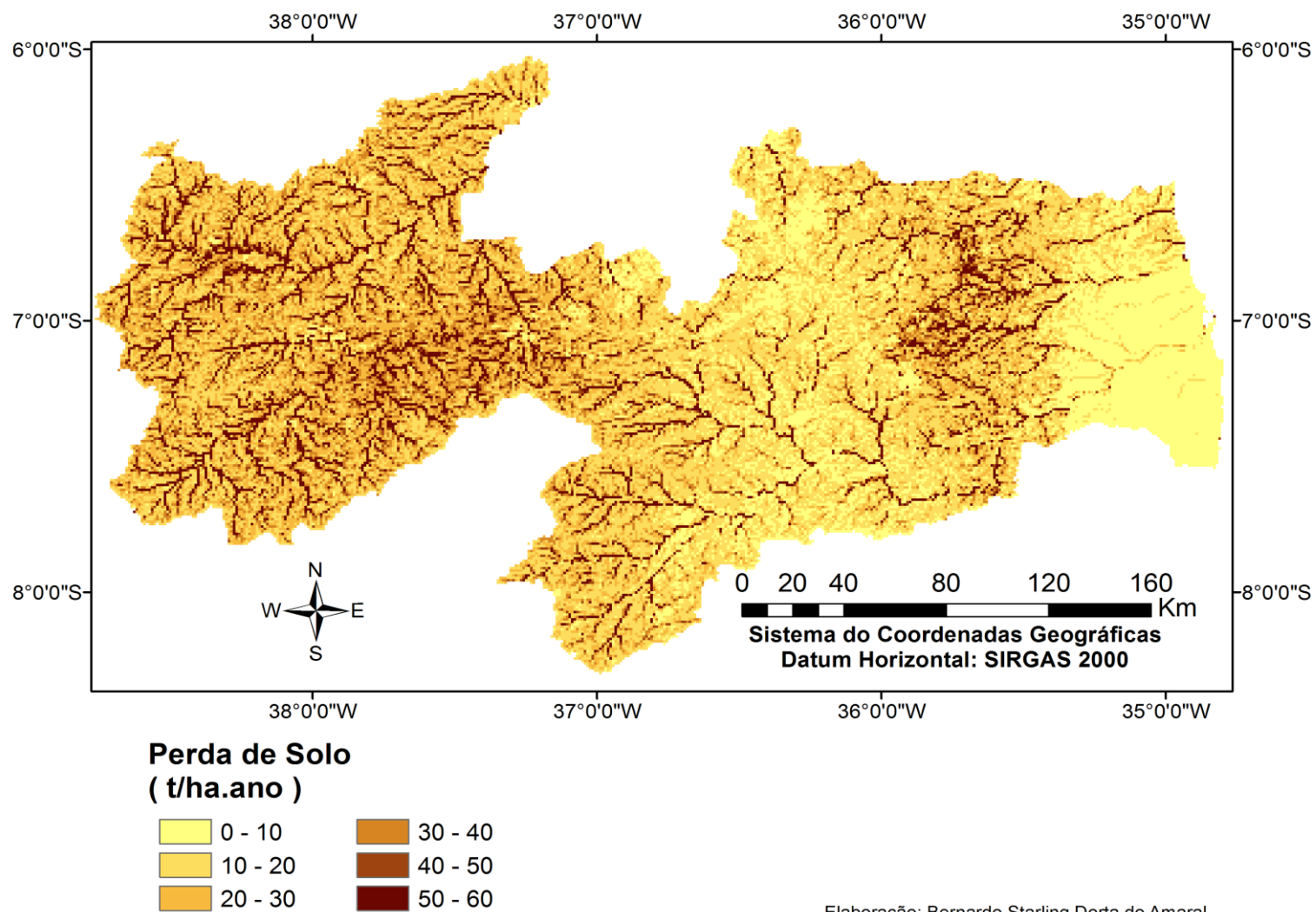


Figura 9: Espacialização das perdas de solos para o Estado da Paraíba.

6. CONCLUSÃO

O estudo mostrou que o Estado da Paraíba apresenta grau de susceptibilidade a erosão moderada mediante a USLE, segundo a classificação proposta por Galdino et al. (2003), uma vez que as classes variam de 0 a maior que 50, o estudo mostrou que os maiores valores de perdas de solo estão entre as classes de 30 – 40 e 40 – 50 t/ha.ano. Os resultados obtidos mostram uma grande influência do solo do tipo Neossolo Litólico Eutrófico e principalmente dos valores de erosividade da chuva que causam as maiores perdas de solo na região do oeste paraibano.

As geotecnologias, sobretudo, as técnicas de SIG permitiram analisar e obter resultados das perdas de solos de maneira satisfatória para o Estado da Paraíba. Mostrando que a topografia, uso do solo, tipos de solo e a erosividade das chuvas influenciam diretamente a produção de sedimentos. Sendo uma ferramenta eficaz para estudos do tipo, predizendo as perdas de solo média anual do Estado da Paraíba.

7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. M.. Aplicação dos Sistemas de Sensoriamento Remoto por Imagens e o Planejamento Urbano e Regional. Arq.Urb. Revista Eletrônica de Arquitetura e Urbanismo (USJT), v. 3, p. 98-123, 2010.

ARAUJO, L. E. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande – PB, fevereiro de 2006.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Ícones, São Paulo-SP, 1990

BRHANE, G. MEKONEN, K. Estimating Soil Loss Using Universal Soil Loss Equation (USLE) for Soil Conservation planning at Medego Watershed, Northern Ethiopia. Journal of America Science: 5(1), 58-69, 2009.

CAMPOS, S. P., CARDOSO, L. G. Cálculo do Fator LS da Equação Universal de Perdas de Solo. Pesquisa em conservação e recuperação ambiental no oeste paulista. Ed. Paginas e Letras. 2004. p.121-232.

CARVALHO, J. R. P. de; VIEIRA, S. R.; VENDRUSCULO, L. G. Uso da técnica de mínimos quadrados ponderados para ajuste de modelos as semivariograma., Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2004.

CARVALHO, M. G. R. F. de. ESTADO DA PARAÍBA. Classificação Geomorfológica. Editora Universitária- UFPB, João Pessoa- PB, 1982.

DANTAS, J. C. Processos hidrossedimentológicos na bacia do Rio Taperoá. João Pessoa-PB, 2016

ELLIOT, W.; LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. Soil erosion research methods. Ankeny: Soil and Water Conservation Society/Saint Lucie Press, 1994. p.11-332.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. In: Reunião Técnica de Levantamento de Solos, 10, 1979, Rio de Janeiro. Súmula... Rio de Janeiro, 1979.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema de Informação de Solos Brasileiros. 2015. Disponível em: <<http://www.sisolos.cnptia.embrapa.br/>>

FERREIRA e MELLO, 2005, apud SOARES, 2015

FILHO, M. F. G; SOUZA, E. P.; BECKER, C. T. Sistemas Convectivos de Mesoescala com Precipitação Intensa na Paraíba: Um Estudo de Caso. Revista Brasileira de Meteorologia. Vol. 11, n.1, 1996, p. 36 – 43.

GALDINO, S., WEILL, M. A. M. Estimativa e análise do fator topográfico (LS) da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) para a bacia do Alto Taquari – MS/MT. Anais 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. Embrapa Informática Agropecuária/INPE. Cárceres-MT, 2010, p.260-269

GÓMEZ, J.D.P. Estimativa da erosão pela Equação Universal de Perda de Solos (USLE) e transferência de sedimentos para todo o território Brasileiro. Dissertação de Mestrado. Piracicaba- SP, 2012

GUERRA, A. J. T. Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações. Bertrand Brasil, 6.ed. Rio de Janeiro-RJ, 2010.

GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. DA. Geomorfologia e meio ambiente. Bertrand Brasil, 10.ed. Rio de Janeiro-RJ, 2011

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. TOPODATA- Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Acessado em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>

JAIN, M.K.; DAS, D. Estimation of sediment yield and areas of soil erosion and deposition for watershed prioritization using GIS and Remote Sensing. Water Resources Management, v. 24, n. 10, p. 2091-2112, 2009.

JAKOB, A. A. E. A Krigagem como método de análise de dados demográficos. Anais, XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, Ouro Preto- MG, 2002.

LEE, J. H.; HEO, J. H. Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation on Korea. Journal of Hydrology 409, p. 30-48, 2011

LIMA, E. R. V. de, Erosão do solo: fatores condicionantes e modelagem matemática. CADERNOS DO LOGEPA, ano 2 – Vol. 3, No. 1, 2004.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A. SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS PARA A MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DOS MARINS (SP). Revista Brasileira de Ciencia do Solo, n.27 p. 735-741, 2003

MARTIN NETO, L.; VAZ, M. P.; CRESTANA, S. editores. Instrumentação avançada em ciência do solo. Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos- SP, 2007.

MELLO C. R., LIMA J. M., SILVA A. M., MELLO J. M., OLIVEIRA S. krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. Revista Brasileira de Ciências dos Solos, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003.

MELLO, C. R. de; Viola, M. R.; Silva, A. M.; Mello, J. M. Continuidade espacial de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. Ciência Agrotecnologia, v.32, n.2, p.532-539, 2008.

MENDONÇA, F; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206 p.

MOLLION, L. C. B; BERNARDO, S.O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. Revista Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro, v.17, n.1, 2002, p. 1-10.

MONTEBELLER, C. A.; CEDDIA, M. B.; CARVALHO D. F. de; VIEIRA, S. R.; FRANCO, E. M. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no estado do Rio de Janeiro. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.27, n.2, p.426-435, maio/ago, 2007.

NIGEL, R.; RUGHOPUTH, S.D.D.V. Soil erosion risk mapping with new datasets: An improved identification and prioritisation of high erosion risk areas. Catena, v. 82, n. 2, p. 191-205, 2010.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 421p.

NISHYAMA, L. Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento. Seminários Gerais em Geotecnia(833). São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 1995, 95 p.

NISHYAMA, L. Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento. Seminários Gerais em Geotécnia, Escola de Engenharia de São Carlo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

PEREIRA, M. D. B. As chuvas na cidade de João Pessoa: uma abordagem genética. Universidade Federal da Paraíba,- UFPB, João Pessoa - PB, 2014.

SCHMUGGE, T.J.; KUSTAS, W.P.; RITCHIE, J.C.; JACKSON, T.J.; RANGO, A. Remote sensing in hydrology. Advances in Water Resources, v. 25, n. 12, p. 1367-1385, 2002.

SILVA, A. M. Rianfall erosivity map for Brazil. Catena, Amsterdam. V. 57, n. 3, p. 251-259, agosto 2004

SILVA, R.M. Análise da perda de solos na Bacia do Rio Tapacurá mediante previsão climática e modelos de erosão. Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia Civil (Tese de Doutorado), Recife, 2010.

SILVA, R.M.; SANTOS, C. A. G. Estimativa da produção de sedimentos mediante uso de um modelo hidrossedimentológico acoplado a um SIG. v. 12, n. 5, p. 520-526, 2008.

SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G.; SILVA, L.P.; SILVA, J.F.C.B.C. Soil loss prediction in Guaraíra river experimental basin, Paraíba, Brazil based on two erosion simulation models. Revista Ambiente e Água, v. 2, n. 3, p. 19-33, 2007.

SOARES, L. P. Caracterização climática do estado do ceará com base nos agentes da circulação regional produtores dos tipos de tempo. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal do Ceará – UFC, fortaleza – CE, 2015

SOUZA, C. F. Dinâmica Climática e as Chuvas no Nordeste Brasileiro no Eixo Barra do Corda/MA - Natal/RN (relações com o fenômeno EL Niño). (Tese de Doutorado). São Paulo: FFLCH/USP - Programa de Pós-Graduação em Geografia, 1998. 325p.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS, Porto Alegre-RS, 2005.

UVO, C. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Precipitação da região Norte do Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE, São Jose dos Campos - SP, 1989

VILAR, O. M. Formulação de um modelo matemático para a erosão dos solos pela chuva. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, USP- Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987, p.196.

VILAR, O. M.; PRANDI, E. C. Erosão dos solos. In: CINTRA, J.C.A.; ALBIERO, J.H. (Eds.). Solos do interior de São Paulo. São Carlos. 1993, p.177-206.

WILLIAMS, J. R. Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor, In: Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources. Washington – DC, USDA, 1975, p 244-252.

WISCHMEIER, W. H. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planting. Washington: USDA, 1965

WISCHMEIER, W. H. SMITH D. D. Use and misuse of the universal soil-loss equation. Journal of soil and Water Conservation. US Department of Agriculture Handbook, n.537, 58 p. 1978

XAVIER, A. P. C. Estimativa da produção de sedimentos com suporte de geotecnologias na bacia do Rio Mamuaba, Estado da Paraíba. João Pessoa-PB, 2014

XAVIER, A. P. C.; SILVA. R. M. Geoprocessamento na modelagem da vulnerabilidade á erosão na bacia do Rio Mamuaba, estado da Paraíba. XXVI Congresso de Cartografia, Gramado – RS, agosto 2014.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; DIAS, P. L. S.; SILVA DIAS, M. A. F. DA. A Zona de Convergência Intertropical – ZCIT e suas relações com a chuva no Ceará (1964-98). Revista Brasileira de Meteorologia. v. 15, n. 1,2000, p. 27-43.